

А. А. Бутько¹⁾

A. A. Butsko

butko_andrei@mail.ru

О. И. Родькин²⁾

A. I. Rodzkin

aleh.rodzkin@rambler.ru

В. А. Пашинский¹⁾

pashynski@mail.ru

1) Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, г. Минск
International Sakharov State Environmental Institute of Belarusian State University, Minsk

2) Белорусский национальный технический университет
Belarusian National Technical University, Minsk

**ОЦЕНКА ПРОДУКЦИОННЫХ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИВЫ
SALIX ALBA ПРИ УТИЛИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СТОКОВ
EVALUATION OF PRODUCTION AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS
OF WILLOW SALIX ALBA DURING UTILIZATION OF AGRICULTURAL WASTE**

Аннотация: В статье представлены результаты морфометрических и продукционных характеристики ивы (*Salix alba*), используемой в качестве вегетационного фильтра для утилизации биогенных элементов. По данным морфометрических показателей и продуктивности биомассы растения, полученных за два трехлетних цикла роста ивы (2011–2016 гг.) предложена методика расчета продуктивности ивы в течение вегетационного периода. Средняя абсолютная ошибка результатов оценки продуктивности надземной биомассы составила 17,2 %, средний модуль отклонений – 0,39 т/га, коэффициент детерминации $R^2 = 0,932$.

Abstract: The article presents the results of morphometric and production characteristics of willow (*Salix alba*), used as a vegetation filter for the utilization of biogenic elements. Based on the data of morphometric parameters and productivity of plant biomass obtained for two three-year growth cycles of willow (2011–2016), a method for calculating the productivity of willow during the growing season is proposed. The average absolute error of the results of assessing the productivity of aboveground biomass was 17,2 %, the average deviation module was 0,39 t/ha, the coefficient of determination $R^2 = 0.932$.

Ключевые слова: быстрорастущая ива, сорт Волмянка, *Salix alba*, продуктивность, морфологические параметры.

Keywords: fast-growing willow, cultivar Volmyanka, *Salix alba*, productivity, growth rate.

Фиторемедиация является одним из наиболее экологически безопасных и эффективных с экономической точки зрения методов восстановления поврежденных экосистем по отношению к другим технологиям ремедиации [4, 5]. Использование растений ивы для фиторемедиации является эффективным инструментом восстановления поврежденных экосистем за счет поглощения растениями содержания загрязняющих веществ и/или избытка питательных веществ в воде и почве, а также способствовать микробной деградации органических загрязнителей [2, 3]. Конструирование вегетационных фильтров на краю сельскохозяйственных земель является одной из наиболее часто применяемых мер, которые разрабатываются и реализуются для контроля поступления наносов, азота, фосфора, и пестицидов в поверхностные воды [1].

Целью работы является оценка морфометрических и продукционных характеристики ивы (*Salix alba*) используемой в качестве вегетационного фильтра.

Полевой эксперимент реализован на экспериментальной площадке УНК «Волма» граничащей с сельскохозяйственными угодьями СПК «Холодон-Агро» Дзержинского района Минской области. Экспериментальная площадка заложена в ложбине стока с координатами ($\varphi = 53^{\circ}52'35,43''$, $\lambda = 26^{\circ}58'20,32''$), которая сопряжена с сельскохозяйственными землями, систематически обрабатываемыми (перепаживаемыми) и используемыми под посеvy сельскохозяйственных культур. Объектом исследования служил сорт Волмянка (сортообразец № 378) ивы белой (*Salix alba*), внесенный в Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь в 2012 г. Растения ивы высажены ленточным способом, с расстоянием между рядами в ленте 0,7 м., между черенками в ряду 0,5 м и между лентами – 1,4 м. Почва экспериментального участка дерново-подзолистая, развивающаяся на песчанисто-лессовидном суглинке, подстилаемом моренным суглинком. Минеральные удобрения при посадке ивы не вносились в соответствии с задачами исследований. Элементы питания растений поступали с территории расположенного на водосборе агроландшафта в соответствии с расположением экспериментального поля на пониженном участке рельефа.

Основные морфометрические параметры и продуктивность ивы сорта *Salix alba* полученные в рамках полевого эксперимента за два трехлетних цикла представлены в таблице 1.

Таблица 1. Морфометрические параметры и продуктивность ивы сорта *Salix alba* на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве за два трехлетних цикла

Морфометрические параметры и продуктивность ивы	1-й трехлетний цикл			2-й трехлетний цикл		
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Количество стеблей, шт./растение	3,1 ± 0,34	3,1 ± 0,31	3,1 ± 0,31	3,4 ± 0,24	3,4 ± 0,29	3,4 ± 0,29
Диаметр стебля, мм	13,17 ±	20,1 ±	26,4 ±	14,04	23,47	28,86 ±

	1,21	1,43	1,82	$\pm 1,49$	$\pm 2,03$	2,33
Высота стебля, см	$152,5 \pm 15,9$	$222,0 \pm 33,1$	$334,3 \pm 28,9$	$166,9 \pm 19,1$	$263,5 \pm 29,2$	$345,7 \pm 37,7$
Продуктивность надземной биомассы, кг/га	7078	12330	17023	5814	13472	19264

Доля биомассы корневой системы растения в среднем за период вегетации за трехлетний период наблюдения составила $0,194 \pm 0,01$ варьируя от $0,215$ в начале до $0,169$ в конце вегетационного периода. Доля листвы в общей биомассе растения принимает максимальное значение в мае – июне – $0,317 \pm 0,01$, минимальное значение в конце вегетации – $0,018 \pm 0,01$. С июля по октябрь наблюдается линейное снижение доли листвы в среднем на $0,075$ в течение месяца. Доля стеблей в конце периода вегетации составила максимальное значение $0,813 \pm 0,03$; в мае – июне минимальное – $0,468 \pm 0,01$. В среднем за месяц доля стеблей с мая по октябрь увеличивается на $0,086$. Максимальное увеличение доли стеблей наблюдается в мае – июне, минимальное в июле, значения которых составили $0,115$ и $0,032$ соответственно. Доля органов биомассы растения в течение вегетационного периода за один трехлетний цикл с момента посадки представлены на рисунке 1.

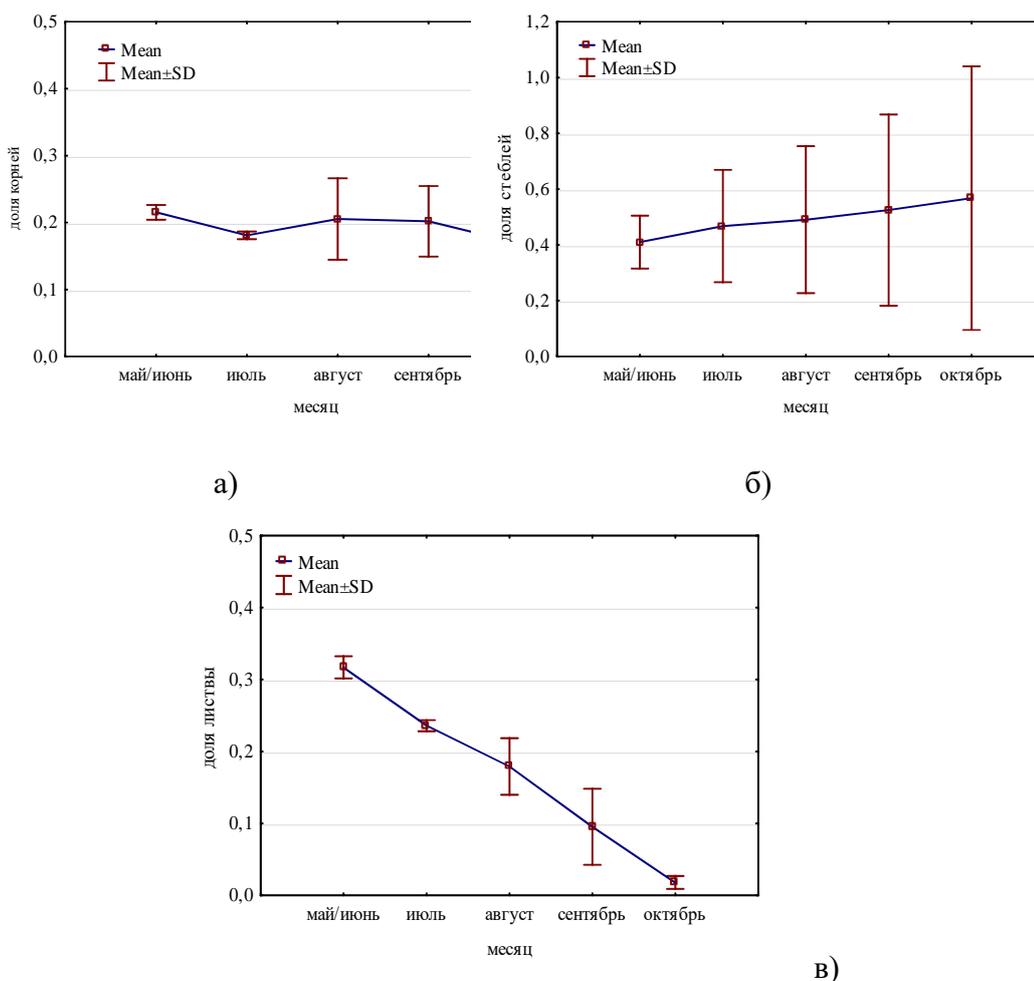


Рис. 1. Доля органов биомассы ивы в течение вегетационного периода 2011–2013

гг.: а) – корни; б) – листва; в) – стебли.

На основании выше представленных данных морфометрических показателей и продуктивности биомассы, полученных за два трехлетних цикла роста ивы (2011–2016 гг.) предложена формула для расчета общей продуктивности надземной биомассы, т:

$$M_{н.б} = a \cdot \left(m_s + m_s \frac{f_{st}}{f_f} \right) \cdot n_p \cdot n_{st} \cdot k_s \cdot 10^6, \quad (1)$$

где $a = 0,780$ – эмпирический коэффициент регрессии; m_s – масса стебля растения, г; n_p – количество растений, шт.; n_{st} – количество стеблей у растения, шт./растение; k_s – коэффициент приживаемости растения; f_{st} – доля стеблей растения; f_f – доля листы растения.

Для расчета продуктивности биомассы стебля использована экспоненциальная функция (Exponential):

$$m_s = y_0 + A_1 e^{R_0 x}, \quad (2)$$

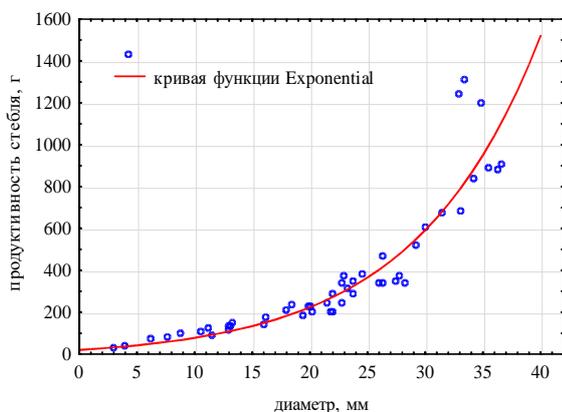
где y_0 – смещение кривой; A_1 – начальное значение кривой; R_0 – постоянная скорости роста кривой; x – диаметр стебля растения, мм.

Значения эмпирических коэффициентов функции (Exponential) для расчета продуктивность биомассы стебля течение трехлетнего вегетационного периода представлены в таблице 2.

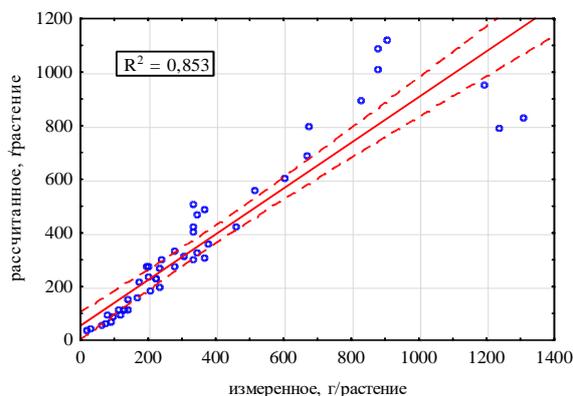
Таблица 2. Эмпирические коэффициенты функции (Exponential)

коэффициент	y_0	A_1	R_0
	-18,173	38,028	0,093

В качестве фактора, влияющего на изменение продуктивности стебля ивы принят его диаметр (рисунок 2 а). Вид формы связи, оценка параметров и качество предлагаемого аналитического уравнения представлено на рисунок 2 б).



а)



б)

Рис. 2. Зависимость продуктивности стеблей ивы от их диаметра

На основании общей продуктивности надземной биомассы ивы рассчитанной по формуле (1) и значений долей органов биомассы растения (рис. 1) предложена формула для расчета продуктивности подземной биомассы растения, т:

$$M_{n.\bar{o}} = M_{n.\bar{o}} \cdot \left(\frac{f_{st} + f_f}{f_r} \right), \quad (3)$$

где f_{st} – доля стеблей растения; f_f – доля листвы растения; f_r – доля корней растения.

Общая продуктивность биомассы ивы рассчитывается по формуле:

$$M_{\bar{o}} = M_{n.\bar{o}} + M_{n.\bar{o}}. \quad (4)$$

Формулы 1–4 позволяют определить продуктивность органов биомассы растения в течение всего вегетационного периода.

Полученные результаты зависимости продуктивности биомассы растения от диаметра стебля растения характеризуются весьма высокой количественной и качественной характеристикой силы связи; критерий $t = 1,04 < t_{кр} = 1,76$; p -уровень – 0,157; коэффициент детерминации $R^2 = 0,932$. Средний модуль отклонений – 0,39 т/га, средний квадрат отклонений 1,19 т/га, квадратный корень из среднеквадратической ошибки – 1,09 т/га, средняя абсолютная ошибка – 17,2 %.

Выше представленные результаты исследований позволяют использовать сезонные морфометрические параметры ивы для расчета ее продуктивности, а также оценки аккумуляции и выноса биогенных элементов ивовыми плантациями, используемыми в качестве вегетативных фильтров.

Список литературы

1. Multiple functions of buffer strips in farming areas / M. Borin, M. Passoni, M. Thiene, T. Tempesta // *European Journal of Agronomy*. 2010. Vol. 32, iss. 1. P. 103–11. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.05.003>.
2. A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements / Z. Fischerova, P. Tlustoš, J. Szakova, K. Šichorova // *Environ Pollut*. 2006. Vol. 144, iss. 1. P. 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.01.005/>.
3. Kiedrzyńska E., Wagner I., Zalewski M. Quantification of phosphorus retention efficiency by floodplain vegetation and a management strategy for a eutrophic reservoir restoration // *Ecological Engineering*. 2008. Vol. 33. P. 15–25. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2007.10.010>.

4. Khan F. I., Husain T., Hejazi R. An overview and analysis of site remediation technologies // *Journal of environmental management*. 2004. Vol. 71, № 2. P. 95–122. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.02.003>.

5. Licht L. A., Isebrands J. G. Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities // *Biomass and Bioenergy*. 2005. Vol. 28, iss. 2. P. 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.08.015>.